

Aguas residuales de lavandería y su tratamiento por Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultra violeta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja- 2017

Wastewater from laundry and its treatment by photocatalytic oxidation with titanium dioxide (TiO₂) and ultra violet light (UV) at the National Institute of Child Health, San Borja- 2017

Antony Jhon Tolentino Castillo ¹; Elmer Benites Alfaro ²; Carlos Cabrera Carranza ³

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

RESUMEN

Los vertimientos que se disponen en los sistemas de alcantarillado sin previo tratamiento muchas veces contribuyen en la contaminación de cuerpos receptores principalmente ríos, mares y lagunas debido a su alta carga contaminante que llevan consigo, las aguas residuales de las lavanderías de centros de salud es uno de los casos que debería tenerse en cuenta por las consecuencias que pueden generar debido a la presencia de contaminantes importantes presentes derivados del uso de biosanitarios, citotóxicos, restos humanos, etc. La investigación realizada persiguió reducir los contaminantes y parámetros fisicoquímicos principales de una muestra de efluentes de aguas residuales de la lavandería del Instituto Nacional de Salud del niño de San Borja – Lima, mediante la tecnología la Oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y Luz ultravioleta (UV). Los resultados obtenidos en un diseño experimental, están relacionados con la concentración del TiO₂, Tiempo de recirculación, pH, DQO, DBO y aditivos de oxidación. Se encontró una máxima eficiencia de mejoramiento en la calidad de las aguas residuales respecto al DQO del 34.21% sin la presencia de H₂O₂ y una máxima del 35.27% con presencia de H₂O₂.

Palabras clave: Oxidación Fotocatalítica; proceso de oxidación avanzada; tratamiento de aguas residuales de lavandería; fotocatalisis.

ABSTRACT

The discharges that are disposed in the sewage systems without previous treatment often contribute to the contamination of receiving bodies, mainly rivers, seas and lagoons due to their high polluting load that they carry with them, wastewater from the laundries of health centers is one of the cases that should be taken into account due to the consequences they can generate due to the presence of important contaminants present derived from the use of bio-sanitizers, cytotoxics, human remains, etc. The research carried out aimed to reduce the pollutants and main physicochemical parameters of a sample of sewage effluents from the laundry of the National Institute of Health of the child of San Borja - Lima, by means of photocatalytic oxidation technology with titanium dioxide (TiO₂) and Light ultraviolet (UV). The results obtained in an experimental design are related to the concentration of TiO₂, recirculation time, pH, COD, BOD and oxidation additives. It was found a maximum efficiency of improvement in the quality of wastewater with respect to the COD of 34.21% but without the presence of H₂O₂ and a maximum of 35.27% with the presence of H₂O₂.

Keywords: Photocatalytic oxidation; advanced oxidation process; laundry wastewater treatment; photocatalysis.

¹ Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. E-mail: a.tolentinocas@gmail.com

² Universidad César Vallejo, Escuela de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. E-mail: ebenitesa@ucv.edu.pe

³ Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú. E-mail: ccabrera@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

El elevado volumen de consumo de agua en las lavanderías de centros de salud, la baja degradabilidad de insumos químicos que en ellas se encuentran, la potencial bioconcentración de agentes biológicos patógenos dentro un hospital y la toxicidad de los detergentes empleados ha sido motivación para la búsqueda de técnicas de tratamientos de las aguas residuales que aquí se originan. El método de oxidación avanzada mediante una fotocatalisis con TiO_2 utilizando luz UV que permiten mineralizar los agentes tensoactivos de los detergentes empleados en esta actividad de lavado, son una alternativa de tratamiento y que se empleó en la investigación. Este método fue ensayado en un estudio por Cabañas et al. (2019) para eliminar patógenos en agua de pozo reduciendo hasta el 53% de coliformes totales y fecales usando 1 mg/L de TiO_2 en 60 minutos de tratamiento. En otra investigación también usando dióxido de titanio y activación con radiación UV natural para la fotocatalisis se generó la decoloración y mineralización del indicador verde de bromocresol en efluentes líquidos (Mera D. y Mera A., 2011).

El método de oxidación avanzada se basa en la formación de radicales hidroxilo (OH^\bullet) que son altamente reactivos con un potencial de oxidación (E°) de 2.8 V que por la abstracción al hidrógeno es muy efectivo en la oxidación de compuestos orgánicos, el mecanismo es generar radicales orgánicos libres (1ra reacción) que pueden reaccionar con el oxígeno molecular formando peroxiradicales (2da reacción), y así sucesivamente pueden darse en serie y terminar en la mineralización completa de compuestos orgánicos (Garcés L., Mejía E. y Santamaría J., 2014). Este sistema fue usado también en tratamiento de efluentes de curtiembre (Alarcón A., 2014), en otro caso para desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol (Guarín C., 2011). En los últimos años se viene mejorando el uso del TiO_2 usándolo en su estado nanoestructurado obteniéndose buenos resultados (Deza, Osorio y Manrique, 2017).

El Instituto Nacional de Salud del Niño de San Borja es un centro de prestación de servicios especializados quirúrgicos que brinda atención a pacientes en fase de convalecencia ya sea por quemaduras, cáncer, TBC entre otras. Haciéndolo un centro de potencial peligro en cualquier fase de su generación de residuos, la investigación se centró en las aguas residuales generadas en la lavandería de dicho centro de salud punto crítico por el cual pasan todas las prendas intrahospitalarias para ser lavadas y sus aguas residuales son vertidas a la red de desagüe. Ante esta realidad, el hospital tiene un Plan Operativo Anual del Servicio de Lavandería que tiene entre sus objetivos mejorar sus condiciones de calidad en el servicio y por ende tratamiento de sus efluentes GEPEHO, (2016), por otra parte también se observa las recomendaciones epidemiológicas del hospital (Oficina de Epidemiología y Salud Ambiental, 2015).

El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia del proceso de oxidación fotocatalítica teniendo como catalizador el dióxido de titanio (TiO_2) con la presencia de luz UV del agua residual biocontaminada generada por el servicio de lavandería del Instituto

Nacional de Salud del Niño de San Borja, determinar las condiciones de tratamiento y variación de los parámetros del agua residual después de su tratamiento.

Los resultados obtenidos inicialmente en las aguas residuales de lavandería muestran valores en la demanda química de oxígeno (DQO) de 232 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 745 mg/L, sólidos totales (SST) 512 mg/L, Aceites y Grasas de 323 mg/L, pH 12, Temperatura de 42 °C y tensoactivos de 18.87 mg/L., observándose que sobrepasan los valores máximos permisibles de la calidad del agua estipulado en la norma ambiental. Sometido estas aguas a pruebas de tratamiento de oxidación fotocatalítica, como resultados se encontró considerable disminución de cada parámetro como por ejemplo con un porcentaje de eficiencia máxima de un 35.27% de la DQO.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación siguió el diseño experimental, se realizará un pre test de las aguas residuales de lavandería, luego se aplicó el proceso de oxidación avanzada fotocatalítica empleando el TiO_2 , y posteriormente se realizó un post-test. En la Tabla 1 se presenta la cantidad promedio por turno de ropa que se somete a lavado y la cantidad de agua promedio que se emplea.

Tabla 1. Consumo de agua en cada rutina laborable

| TURNO | Mañana | Tarde | Noche |
|--------------------------------|--------|-------|-------|
| Ropa lavada (Kg) | 366 | 202 | 144 |
| Agua empleada (m^3) | 15 | 14 | 14.5 |

Fuente: propia.

El tratamiento de las aguas residuales producto del lavado de la ropa en este centro de atención a la salud, consistió en utilizar un reactor de lecho fluidizado donde se sometió a la oxidación avanzada, específicamente una fotoxidación en su variante la fotocatalisis con TiO_2 y luz UV, conforme se aprecia en la Figura 1.

Se realizaron los tratamientos de agua residual variando las condiciones de operación. Se emplearon 2 casos de estudios para cada ensayo de las aguas residuales de diferentes características, uno sin presencia de peróxido de hidrógeno y el otro con su uso. Esto debido a que los efluentes del Instituto Nacional del Niño de San Borja son de una alta carga contaminante debido a que se usa productos diversos para su desinfección y lavado de coberturas y ropa de cama.

El tratamiento se realizó en 20 ensayos en cada uno de las tres fechas distintas considerando la cantidad de TiO_2 y tiempo de recirculación en el lecho fluidizado y con la presencia o no de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), conforme se muestra en la Tabla 2. La muestra en cada ensayo fue de 20 litros de agua residual de lavandería. Posteriormente los análisis se realizaron de acuerdo a las normas técnicas normalizadas (APHA, AWWA y WPCF, 1985).

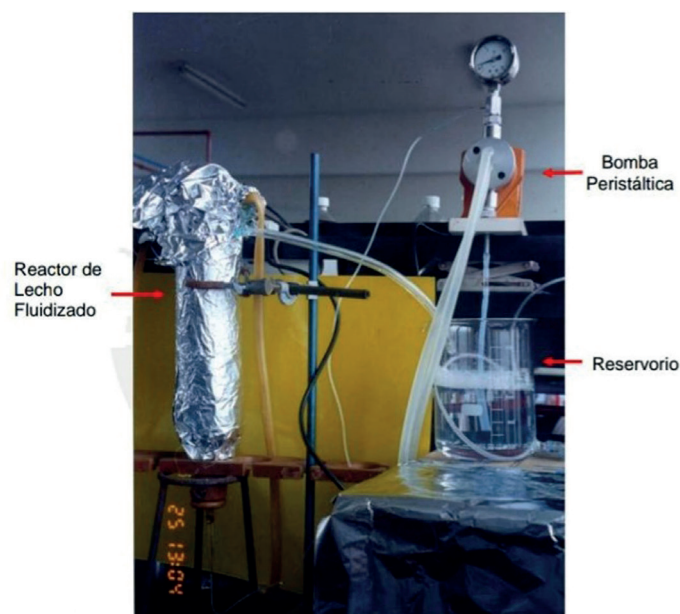


Figura 1. Sistema de tratamiento, Lecho fluidizado. Fuente: Cabañas et al. (2019).
Elaboración propia.

Tabla 2. Condiciones de los tratamientos

| N° de ensayos | Cantidad de TiO_2 (g/l) | Tiempo de contacto (recirculación en el lecho) | Con presencia de H_2O_2 |
|---------------|----------------------------------|---|---|
| 1 al 20 | 0.0, 0.5, 1 | 1, 2, 3 | Si / No |

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento

| Parámetros | Valores máximos admisibles (VMA) | Pre – tratamiento | Post-tratamiento Repeticiones en tres diferentes días y promedio | | | | % de reducción |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|------|-----|----------|----------------|
| | | Inicial | 1 | 2 | 3 | Promedio | |
| Aceites y Grasas (mg/L) | 100 | 323 | 134 | 145 | 234 | 171 | 47.1 |
| DBO5 (mg/l) | 500 | 745 | 501 | 500 | 478 | 493 | 33.8 |
| SST mg/L | 500 | 512 | 324 | 319 | 312 | 318.3 | 37.8 |
| Tensoactivos (mg/L) | 13.54 | 18.87 | 14.2 | 13.6 | 13 | 13.6 | 27.8 |
| Nitrógenos Amoniacal (mg/L) | 80 | 101 | 78 | 77 | 68 | 74.3 | 26.4 |

Tabla 4. Reducción del DQO en muestras sin H_2O_2

| Ensayo N° | TiO_2 (g/L) | Tiempo (h) | pH Inicial | DQO inicial (mg/L O ₂) | pH Final | DQO final (mg/L O ₂) | Degradación % |
|--------------|-------------------------|------------|------------|---------------------------------------|----------|-------------------------------------|------------------|
| 14 | 1 | 2 | 6 | 535 | 5.35 | 352 | 34.21 |
| 16 | 1 | 1 | 9 | 516 | 7.21 | 367 | 28.88 |
| 16 | 1 | 1 | 9 | 547 | 6.68 | 372 | 32.06 |

III. RESULTADOS

Se llamó resultados de pre-tratamiento a aquellos obtenidos antes del tratamiento con TiO_2 y post-tratamiento a los resultados del análisis luego de pasar el agua por el proceso indicado.

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros físico-químicos antes y después de tratamiento de oxidación catalítica en el agua residual de la lavandería del INSN-SB, se muestran la Tabla 3, donde también se indica los resultados más óptimos de remoción,

siendo de aceites y grasas (AyG) de un 47.1%, SST en un 37.8%, Tensoactivos de un 27.8% y de Nitrógeno amoniacal en un 26.4%.

Demanda química de oxígeno, sin uso de H_2O_2

Se presenta en la Tabla 4 los mejores resultados en la disminución del DQO de los 20 ensayos de cada día realizado (tres días). Así en la primera fecha se encontró que en el ensayo 14 usando 1 g/L de catalizador TiO_2 en un tiempo de 2 horas de tratamiento se redujo el DQO en un 34.21%. En los otros días se obtuvo porcentajes menores.

Demanda química de oxígeno, con uso de H_2O_2

Cuando se usa H_2O_2 en el tratamiento se tiene los resultados que indican en la Tabla 5, donde se presenta los mejores resultados en la disminución del DQO de los 20 ensayos de cada día realizado (tres días). Se tiene que en el ensayo 11 del primer día de tratamientos se encontró que usando 0.5 g/L de catalizador TiO_2 en un tiempo de 2 horas de tratamiento se logró reducir el DQO en un 35.27%. En los otros días se obtuvo porcentajes menores. Aquí se debe tener en cuenta el pH que baja relativamente a 5.57 requiriendo neutralizarse.

IV. DISCUSIÓN

Se encontró que las aguas residuales de la lavandería del centro de salud (Hospital del niño) del INSNSB presentó concentración de carga contaminante, conforme a los resultados encontrados en los análisis. Esto se verificó con los valores de los parámetros fisicoquímicos cuyos valores sobrepasaban los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en la normativa legal para este tipo de efluentes (DS N° 021-2009-Vivienda). Se obtuvo valores de aceites y grasas (AyG) de 323 mg/l, DBO de 745mg/l, SST de 512 mg/l, pH de 12, Tensoactivos de 18.87 mg/l, Nitrógeno amoniacal de 101 mg/l. Estas aguas de lavandería se caracterizan por presentar detergentes compuestos de agentes tensoactivos comerciales adicionales como dodecilsulfonato de sodio como lo indica Solé (2014).

En el tratamiento por el proceso de oxidación fotocatalítica empleando el dióxido de titanio (TiO_2) y luz ultravioleta de las aguas residuales procedente del centro de salud del INSNSB, se logró reducir la DQO en un 34.21%; sin embargo reforzando el tratamiento con H_2O_2 se mejoró la reducción llegando al 35.27%. Similar método usó Gil P., (2005) que logró la degradación con una DQO sin uso de H_2O_2 de 26.49% y con presencia de H_2O_2 logró 41.8% pero en muestras de aguas residuales de una lavandería industrial no hospitalaria; Por tanto se confirma la eficiencia del método. La Luz ultravioleta es una manera también eficaz en la descontaminación de aguas residuales y que fue usado en una investigación por Tinoco O, Medina A. y Zapata H. (2014) para tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar, a diferencia de la investigación que se da cuenta que fue de fuente de energía eléctrica.

En cuanto a la concentración de dióxido de titanio a usarse, de los ensayos se encontró que en un 0.56 g/L fue suficiente para alcanzar el mejor resultado de reducción del DQO para el caso de ensayo usando peróxido de hidrógeno (H_2O_2), en caso de no uso el mejor resultado de reducción

del DQO fue con 1 g/L. En la investigación de Gil P. (2005), usó 0.8 g/L como concentración máxima y 0.6 g/L como mínima.

Otro aspecto a tomar en cuenta fue el tiempo de tratamiento por el sistema de lecho fluidizado con el catalizador y peróxido de hidrógeno. Como resultado se obtuvo para la mejor reducción del DQO un tiempo de 2 horas; sin embargo a 1 horas también se obtiene porcentajes cercanos de reducción del DQO. Comparado con Gil, P. (2005) éste también encontró tiempos de recirculación similares de 2 horas como máximo y 1 hora como mínimo.

V. CONCLUSIÓN

Se establece que existe una eficiencia positiva en el proceso de oxidación fotocatalítica empleando como catalizador el TiO_2 , para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) indicador de contaminación de las aguas residuales de la lavandería del Hospital del Instituto Nacional del niño de San Borja (INSNSB), en donde el tiempo de tratamiento en el sistema de lecho fluidizado, concentración del catalizador así como la concentración del contaminantes en el agua influyen en la evolución y eficiencia del proceso de fotocatalisis.

El proceso se pudo mejorar usando peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para mejorar el tratamiento, luego de lo cual algunos parámetros fisicoquímicos como aceites y grasas, DBO, DQO, pH, sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal son reducidos hasta dentro los valores máximos admisibles, mas no la concentración de los tensoactivos presentes que se logró reducir pero no bajo las VMA que estipula la norma ambiental.

Finalmente, el tratamiento permite una disminución de la carga de contaminantes del efluente biocontaminadas de un centro hospitalario, siendo una técnica viable y muy eficaz para mejorar las condiciones de este tipo de efluentes antes de ser vertidas en los cuerpos receptores, disminuyendo el impacto ambiental.

VI. REFERENCIAS

Cabañas D., Mota V. y Ruiz J. (2019). Luz solar y TiO_2 para eliminar patógenos contenidos en agua de pozo: comportamiento de la fotocatalisis. *Revista Ingeniería* 23 (1), pp. 1-13, ISSN: 2448-8364. Recuperado de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/133>

Tabla 5. Reducción del DQO en muestras con H_2O_2

| Ensayo N° | TiO_2 (g/L) | Tiempo (h) | pH Inicial | DQO inicial (mg/L O ₂) | pH Final | DQO final (mg/L O ₂) | Degradación % |
|-----------|---------------|------------|------------|------------------------------------|----------|----------------------------------|---------------|
| 11 | 0.5 | 2 | 6 | 567 | 4.57 | 367 | 35.27 |
| 19 | 0.5 | 3 | 7 | 829 | 5.56 | 663 | 20.02 |
| 10 | 0.5 | 2 | 8 | 634 | 6.23 | 433 | 31.73 |

- Mera D. y Mera A. (2011). Tratamiento fotocatalítico de aguas residuales generadas en laboratorios con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Lasallista de investigación*, 8(1), pp 28-41. Recuperado de: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/rldi/article/view/67>
- Garcés L., Mejía E. y Santamaría J. (2014) La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), pp. 83-92. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511013>
- APHA, AWWA y WPCF. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 16 ed. Washington (Estados Unidos): APHA, 1985. 1500 p. Recuperado de: <http://lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/Vol1n1/083-92%20La%20fotocat%C3%A1lisis%20como%20alternativa%20para%20el%20tratamiento.pdf>
- Alarcón A. (2014). Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de la fase de teñido de la Curtiembre mediante un Sistema físico-químico basado en la oxidación avanzada con la ayuda del semiconductor TiO₂ en presencia de la luz UV. Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3241>
- Guarín C. (2011). Fotocatalisis Heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol. Medellín. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/750/75022317007.pdf>
- Deza, Osorio y Manrique, (2017). Evaluación experimental de la degradación fotocatalítica del colorante Cibacron Navy H-2G empleando nanopartículas industriales de TiO₂. Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Perú. *Rev. Soc. Química del Perú*. 83(2). Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200003
- GEPEHO (2016a). *Matriz de aspecto e Impacto Ambiental de Lavandería*. Instituto Nacional de Salud del Niño: San Borja. LA-MT-04 V01. Recuperado de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13085/Tolentino_CAJ.pdf
- GEPEHO (2016b). *Plan Operativo Anual del Servicio de Lavandería*. Instituto Nacional de Salud del Niño: San Borja. DEGIOVIG-PL LAV-001. Recuperado de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13085/Tolentino_CAJ.pdf
- Diario El Peruano, (2019). DS N° 021-2009-Vivienda. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Recuperado de: <https://www.sedacusco.com/docs/01%20DS%20021-2009-VIVIENDA.pdf>
- Solé A. (2014). Tensioactivos en la industria textil. *3C Tecnología*, 3(3): 137-151. Recuperado de: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2014/09/TENSIOACTIVOS-EN-LA-IND%20ASTRIA-TEXTIL.pdf>
- Gil, E. (2005) Oxidación Fotocatalítica de aguas residuales de la industria de Lavandería utilizando TiO₂ como catalizador y luz UV. Universidad EAFIT de Bogotá: Colombia. 25- 40p. ISSN 1794-9165. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/835/83510202.pdf>
- Oficina de Epidemiología y Salud Ambiental (2015). *Análisis de la Situación de Salud*, Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja. Perú: Lima. Recuperado de <http://www.insn.gob.pe/sites/default/files/publicaciones/ASIS%20INSN-v15.pdf>
- Tinoco O, Medina A. y Zapata H. (2014). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, 14 (2). Recuperado de: <https://doi.org/10.15381/idata.v14i2.6217>

